

Hunt 方法을 이용한 Image Restoration에 있어서의 인버스 필터 效果

(Effect of Inverse Filter in Image Restoration Using Hunt's Method)

李 聖 春*, 姜 哲 豪**, 李 晟 漢**
(Seong Choon Lee, Cheol Ho Kang and Chung Han Lee)

要 約

Hunt가 제안한 restoration 방법은 限定條件 (constraint)을 만족하는 적정치 γ 값을 찾음으로써 얻어진 다. 本 論文에서는 이러한 Hunt 방법에 의한 restoration 필터에 인버스 필터의 효과를 첨가하여 얻어지는 새로운 image restoration 방법을 제시하였다.

따라서 復元된 映像 (restored image)을 구하기 위한 適定值 γ 가 유일하게 결정되는 Hunt의 방법에 비해 인버스 필터 효과의 정도에 따라 限定條件을 만족하는 적정치 γ 를 새롭게 결정함으로써 얻어지는 복원된 영상에서 高周波 성분이 강조되는 효과를 볼 수 있다.

本 論文에서는 인버스 필터 효과의 정도를 나타내는 α 를 변화시켜 가며 restoration된 결과와 α 가 0인 경우에 해당하는 Hunt의 방법에 의해 restoration되어진 결과를 비교, 검토하였다.

Abstract

In this paper, the modified Hunt's constrained least squares estimation method for image restoration is studied with the parameter α which represents the effect of inverse filter.

And it is shown that high frequency components in the restored image obtained by the proposed method are emphasized by optimizing the constraining factor γ , depending upon α .

I. 序 論

映像의 형태로 나타난 X-ray 및 超音波 사진, 宇宙 航体로부터 오는 전송 사진, 地質探査 사진등의 자료를 가지고 컴퓨터로 映像을 處理하는 것이 디지털 映像處理이다. 디지털 映像處理중 중요한 부분의 하나인 디지털 image restoration에 대하여, 本 論文에서는 Hunt가 제시한 방법을 확장하여 조금 더 일반적인 상태에서 각기 처리된 결과를 비교하였다.

즉 Hunt의 限定最小제곱 필터는 주어진 限定條件을 만족하는 복원된 영상을 구하기 위해 반복하여 가장 적정한 γ 를 구하는 것이었으나,⁽¹⁾⁽²⁾⁻⁽⁵⁾ 本 論文에서는 Hunt의 限定最小제곱 필터링 식에 인버스 필터링 식을 조합하여 같은 限定條件을 만족하는 적정치 γ 를 갖는 解를 얻도록 하였다. 여기서 인버스 필터 효과의 정도를 나타내는 媒介變數 α 를 도입하여 동일한 限定條件을 만족하면서도 인버스 필터링 효과가 첨가된 복원된 영상을 얻을 수 있도록 하였다.

이러한 인버스 필터링 효과는 Hunt의 限定最小제곱 필터가 低周波 성분에 대하여 우세한 것을 媒介變數 α 에 의해 低周波 성분을 de-emphasis 하여 高周波 성분을 보상하는 것이다. 따라서 인버스 필터링 효과는

* 準會員, 金星半導體(株) 研究所

** 正會員, 서울大學校 工科大學 電子工學科
(Dept. of Electron. Eng., Seoul National Univ.)

接受日字: 1984年 2月 8日

크게함으로써 복원된 영상은 高周波 성분이 강조되어 상당히 큰 α 값에 대해서는 인버스 필터 효과가 우세하게 된다. 이때 雜音에 의한 영향이 나타나므로 이 영향이 무시될 수 있는 정도에서 적절히 인버스 필터링 효과가 첨가된 복원된 영상을 구할 필요가 있다.

따라서 本 論文에서는 Hunt의 限定最小제곱 필터에 의해 구한 복원된 영상과 α 값에 따라 인버스 필터링 효과가 나타난 복원된 영상을 비교, 검토하고자 한다.

II. Digital Image Restoration의 원리

1. Degradation 모델¹¹⁾

그림 1에서 degradation 과정은 原映像 $f(x,y)$ 에 작용하는 오퍼레이터 H 와 加算雜音(additive noise) $\eta(x,y)$ 으로 모델링 된다.

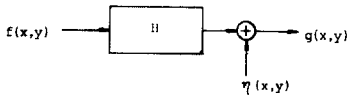


그림 1. Degradation 과정

Fig. 1. The procedure of degradation.

Degradation 모델에 의하면

$$g(x,y) = Hf(x,y) + \eta(x,y) \quad (1)$$

가 된다. H 의 임펄스 응답이 $h(x,\alpha,y,\beta)$ 이고 H 가 위치不變하다면 식(1)은

$$g(x,y) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(\alpha,\beta) h(x-\alpha,y-\beta) d\alpha d\beta + \eta(x,y) \quad (2)$$

가 된다.

2. 離散 公式化

식 (2)를 디지털 image restoration을 위한 이산적 모델로 近似化하면¹⁵⁾

$$g(x,y) = \sum_{m=0}^x \sum_{n=0}^y h(x-m,y-n) f(m,n) + \eta(x,y) \quad (3)$$

가 되는데 여기서 f 는 $M \times N$, h 는 $J \times K$ 일 때 g 와 η 은 $(M+J-1) \times (N+K-1)$ 크기의 行列이다.

2차원의 이산 degradation 모델에 있어서 $f(x,y)$ 와 $h(x,y)$ 를 $U \times V$ 로 확장된 $f_e(x,y)$ 와 $h_e(x,y)$ 로 정의한다.

$$f_e(x,y) = \begin{cases} f(x,y) & 0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1 \\ 0 & M \leq x \leq U-1, N \leq y \leq V-1 \end{cases}$$

$$h_e(x,y) = \begin{cases} h(x,y) & 0 \leq x \leq J-1, 0 \leq y \leq K-1 \\ 0 & J \leq x \leq U-1, K \leq y \leq V-1 \end{cases}$$

따라서 식 (3)은

$$g_e(x,y) = \sum_{m=0}^{U-1} \sum_{n=0}^{V-1} f_e(m,n) h_e(x-m,y-n) + \eta_e(x,y) \quad (4)$$

for $x=0,1,2,\dots,U-1, y=0,1,2,\dots,V-1$

가 되는데 convolution 주기에 의한 overlap 오차를 없

애기 위하여

$$U \geq M+J-1, V \geq N+K-1$$

이 되도록 하여야 한다.

식 (4)에서 $U \times V$ 행렬 $f_e(x,y)$, $g_e(x,y)$ 와 $\eta_e(x,y)$ 를 stacking 오퍼레이션하여 $UV \times 1$ 의 column 벡터인 \mathbf{f}, \mathbf{g} 와 \mathbf{n} 로 정하면

$$\mathbf{g} = \mathbf{H} \mathbf{f} + \mathbf{n} \quad (5)$$

가 되는데 \mathbf{H} 는 $UV \times UV$ block-circulant 행렬이 된다. 따라서 식 (5)에서 주어진 \mathbf{g} 로부터 \mathbf{H} 와 \mathbf{n} 에 대한 정보를 가지고 \mathbf{f} 를 estimation하는 것이다.

식 (5)를 Fourier 변환하면

$$\mathbf{G}(u,v) = UV \mathbf{H}(u,v) \mathbf{F}(u,v) + \mathbf{N}(u,v) \quad (6)$$

for $u=0,1,2,\dots,U-1, v=0,1,2,\dots,V-1$

가 되는데 $\mathbf{G}(u,v)$, $\mathbf{H}(u,v)$, $\mathbf{F}(u,v)$ 와 $\mathbf{N}(u,v)$ 는 $g_e(x,y)$, $h_e(x,y)$, $f_e(x,y)$ 와 $\eta_e(x,y)$ 가 Fourier 변환된 것이다.¹¹⁾ 식 (6)은 식 (5)의 많은 量의 계산이 $U \times V$ 의 적은 量의 Fourier 변환의 계산으로 축소될 수 있다는 중요성을 지닌다.

3. Constrained Restoration 方法

\mathbf{Q} 가 $\hat{\mathbf{f}}$ 에 작용하는 線形 오퍼레이터일 때 限定條件 $\|\mathbf{g} - \mathbf{H} \hat{\mathbf{f}}\|^2 = \|\mathbf{n}\|^2$ 을 만족하면서 $\|\mathbf{Q} \hat{\mathbf{f}}\|^2$ 을 最小化하는 least-squares restoration을 lagrange multiplier를 사용하여 구하면,¹¹⁾⁽⁶⁾

$$\hat{\mathbf{f}} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H} + \gamma \mathbf{Q}^T \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{g} \quad (7)$$

를 얻게 되는데 이때 γ 를 限定條件이 만족되도록 조절한다.

이밖에도 smoothing 정도를 限定條件으로 정하여 restoration하는 방법이 있다.¹²⁾⁽⁸⁾

4. Restoration을 위한 알고리즘

식 (7)에서 \mathbf{Q} 를 Phillips에 의한 smoothness 정도에 근거하여¹⁷⁾ 정한 후 식 (7)을 Fourier 변환한 식은

$$\hat{\mathbf{F}}(u,v) = \frac{1}{UV} \frac{\mathbf{H}^*(u,v)}{|\mathbf{H}(u,v)|^2 + \gamma |\mathbf{P}(u,v)|^2} (u,v) \quad (8)$$

for $u=0,1,2,\dots,U-1, v=0,1,2,\dots,V-1$

가 된다.¹¹⁾⁽⁶⁾ 여기서 $\mathbf{P}(u,v)$ 는 디지털 laplacian 오퍼레이터 $\mathbf{P}(x,y)$ 가 $U \times V$ 로 확장된 $\mathbf{P}_e(x,y)$ 를 Fourier 변환한 것이다.

$$\mathbf{P}(x,y) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}_e(x,y) = \begin{cases} \mathbf{P}(x,y) & 0 \leq x \leq 2, 0 \leq y \leq 2 \\ 0 & 3 \leq x \leq U-1, 3 \leq y \leq V-1 \end{cases}$$

그러나 식 (8)은 線形 Smoothness 오퍼레이터에 의해 얻은 解이므로 低周波 성분이 우세하여 高周波 성

분을 de-emphasis하므로 복원된 영상에서 高周波 성분을 보상할 필요가 있다. 따라서 이러한 高周波 성분을 보상하는 한 방법으로써 같은 限定條件을 만족하며, 高周波 성분이 우세한 인버스 필터링 식과 低周波 성분이 우세한 限定最小 제곱 필터링 식을 媒介變數 α 에 의하여 조합한 필터링 식은

$$\hat{F}(u, v) = \frac{1}{UV} \left[\frac{1}{H(u, v)} \right]^\alpha \left[\frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \gamma |P(u, v)|^2} \right]^{1-\alpha} \quad (11)$$

for $u=0, 1, 2, \dots, U-1, v=0, 1, 2, \dots, V-1$

과 같이 나타낼 수 있다.

따라서 식 (11)에서

$$\begin{cases} \alpha=0 & \text{限定最少 제곱 필터} \\ 0 < \alpha < 1 & \text{parametric 限定最小 제곱 필터} \\ \alpha=1 & \text{인버스 필터} \end{cases}$$

가 됨을 알 수 있다.

限定條件 $\|g - H\hat{f}\|^2 = \|n\|^2$ 을 만족하는 γ 를 구하기 위하여 residual 벡터 $\boldsymbol{\gamma}$ 를

$$\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{g} - \mathbf{H}\hat{\mathbf{f}} \quad (12)$$

와 같이 정의한다.

Hunt에 의하면

$$\begin{aligned} \phi(\gamma) &= \boldsymbol{\gamma}^T \boldsymbol{\gamma} \\ &= \|\boldsymbol{\gamma}\|^2 \end{aligned} \quad (13)$$

로 $\phi(\gamma)$ 는 γ 에 대하여 단조 증가하는 함수이다.^[5]

적정치 γ 를 찾기 위하여 限定條件의 크기는^{[11],[6]}

$$\|n\|^2 = (M+J-1) \times (N+K-1) (\sigma_n^2 + \bar{\gamma}_n^2) \quad (14)$$

와 같이 雜音의 평균과 표준 편차의 통계적인 특성으로부터 구할 수 있다.

따라서 알고 있는 雜音의 평균과 표준 편차로부터 $\|n\|^2$ 을 구한 후 임의의 초기치 γ 를 정한다. 식 (11)에 의하여 적절한 α 값을 가지고 $\hat{F}(u, v)$ 를 구한 후 인버스 Fourier 변환하여 $\hat{\mathbf{f}}$ 를 구한다. 이때 식 (12)의 residual 벡터로부터 식 (13)의 $\phi(\gamma)$ 를 구한 후 $\phi(\gamma)$ 가 식 (14)의 $\|n\|^2$ 과 같은 값이 되도록 Secant 알고리즘에 의하여 적정치 γ 값을 찾을 수 있다.^[9]

III. 映像處理 방법 및 결과

本論文의 실험을 위하여 VAX 컴퓨터가 사용되었고 프로그램 수행 후 SUBROUTINE WRITEIMAGE 2에 의해 컴퓨터에 저장된 영상 데이터를 VAX에 연결되어 있는 영상 디스플레이 프로세서인 LEXIDATA에 의해 디스플레이시켰다.

1. 映像處理 과정

1) Degraded System

本論文에서는 그레이 레벨이 256이고 128×128 원

영상을 채운된 영상으로 만들기 위하여 108×108 영상 이외의 데이터는 0로 하였다. 이러한 108×108 원 영상은 10×10 행렬의 Gaussian 형태의 PSF(point spread function)

$$h(x, y) = \exp \left[- \left(\frac{x^2 + y^2}{200} \right)^2 \right] \quad (15)$$

에 의하여 blurring되고 평균이 0, 표준편차가 0.5인 Gaussian 雜音을 더하여 얻어진 117×117 크기의 채운된 영상을 가지고 실험하였다.

또한 식 (7)에서 $\mathbf{H}^T \mathbf{H}$ 같은 double convolution에 의한 오차를 없애기 위해

$$U \geq M+2J-1, V \geq N+2K-1 \quad (16)$$

이 되어야 한다. 따라서 $U=V=128$ 로 하면 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용할 수 있게 된다.

$U \times V$ 의 채운된 영상 $g_e(x, y)$ 를 구하기 위해 $h_e(x, y)$ 와 $f_e(x, y)$ 를 convolution한 후 Gaussian 雜音 $\eta_e(x, y)$ 를 더하게 되는데 $h_e(x, y)$ 와 $f_e(x, y)$ 의 convolution은 Fourier 변환된 $H(u, v)$ 와 $F(u, v)$ 의 곱에 UV 를 곱한 후 인버스 Fourier 변환하여 구한다.

이렇게 구한 $g_e(x, y)$ 는 convolution하고 雜音을 더하여 얻어진 값이므로 正規化하여 영상으로 디스플레이할 수 있도록 정수 데이터로 만들어야 한다. PSF가 10×10 행렬이므로 정규화하기 위한 상수 S 는 PSF의 10×10 행렬 성분을 더한 합으로 하였고 정수 데이터로 만들기 위하여 clipping은 소수점 이하를 반올림한 데이터 중 그레이 레벨이 0이하는 0으로 하고 255이상은 255로 정하였다.

2) Restored System

식 (1)에서 인버스 필터 효과의 정도를 결정하는 α 값을 정하고 PSF, 채운된 영상과 디지털 Laplacian 오퍼레이터 $P(x, y)$ 를 $U \times V$ 로 확장한 $P_e(x, y)$ 의 Fourier 변환인 $H(u, v)$, $G(u, v)$ 와 $P(u, v)$ 를 구한다.

복원된 영상을 구하기 위한 식 ((7)에서 적정한 γ 값을 찾기 위하여 限定條件을 만족해야 한다. 限定條件식에서 $\mathbf{H}\hat{\mathbf{f}}$ 는 $h_e(x, y)$ 와 $f_e(x, y)$ 를 convolution한 것이므로 $\mathbf{H}\hat{\mathbf{f}} = \mathbf{F}^{-1} \{ UV \mathbf{H}(u, v) \hat{\mathbf{F}}(u, v) \}$ 에 의하여 쉽게 구할 수 있다. 따라서 $\|g - \mathbf{H}\hat{\mathbf{f}}\|^2$ 을 구하는 것은 $\|g - \mathbf{F}^{-1} \{ UV \mathbf{H}(u, v) \hat{\mathbf{F}}(u, v) \}\|^2$ 을 구하는 것이다. 즉 다음과 같이

$$\begin{aligned} UV \mathbf{H}(u, v) \hat{\mathbf{F}}(u, v) &= UV \mathbf{H}(u, v) \frac{1}{UV} \left[\frac{1}{H(u, v)} \right]^\alpha \\ &= \left[\frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \gamma |P(u, v)|^2} \right]^{1-\alpha} G(u, v) \\ &= \left(\frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + \gamma |P(u, v)|^2} \right)^{1-\alpha} G(u, v) \end{aligned} \quad (17)$$

for $u=0, 1, 2, \dots, U-1, v=0, 1, 2, \dots, V-1$

를 구한 후 인버스 Fourier 변환에 의하여 $H\hat{f}$ 를 구하게 된다. 그런데 $\|g - H\hat{f}\|^2$ 은 $g - H\hat{f}$ 가 column 벡터이므로 그 각 성분이 제곱된 항들의 합이 된다. 따라서 식 (17)에서 γ 가 증가하면 $H(u, v)\hat{f}(u, v)$ 는 작게 되고 또한 $H\hat{f}$ 도 작은 성분을 갖게되므로 $\phi(\gamma)$ 는 γ 값에 따라서 증가하는 단조 증가 함수가 된다. 그러므로 $\phi(\gamma) = \|g - H\hat{f}\|^2 = \|n\|^2$ 을 만족하는 γ 값을 찾기 위하여 secant 알고리즘을 사용한다.

Secant 알고리즘은 다음과 같다.

$f(x)$ 를 Taylor 급수 전개하면

$$f(x) \approx f(p_{n-1}) + f'(p_{n-1})(x - p_{n-1}) \quad (18)$$

이므로

$$f(p_{n-2}) \approx f(p_{n-1}) + (p_{n-2} - p_{n-1})f'(p_{n-1}) \quad (19)$$

가 된다.

따라서

$$f'(p_{n-1}) \approx \frac{f(p_{n-1}) - f(p_{n-2})}{p_{n-1} - p_{n-2}} \quad (20)$$

가 되므로 $f(x) = 0$ 에 수렴하는 새로운 p_n 은 식 (20)

을 식 (18)에 대입하여 새로운

$$p_n = p_{n-1} - \frac{f(p_{n-1})(p_{n-1} - p_{n-2})}{f(p_{n-1}) - f(p_{n-2})} \quad (21)$$

를 얻어 $f(x) = 0$ 로 하는 값을 찾을 때까지 반복한다.

$\phi(\gamma) = \|g - H\hat{f}\|^2 = \|n\|^2$ 을 만족하는 γ 값을 Secant 알고리즘에 의하여 반복하여 구하는 과정이 그림 2에 나타나있다.

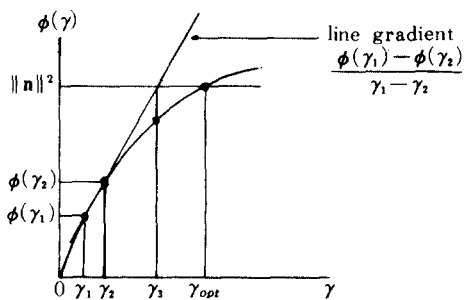


그림 2. 적정치 γ 를 찾는 과정.
Fig. 2. Procedure for finding optimal γ .

즉 그림 2에서 적정치 γ 를 찾기 위하여 γ_1 과 γ_2 를 초기치로 정한 후 알고리즘에 따라 γ_3 를 구하고 γ_2 와 γ_3 를 가지고 限定條件에 수렴하는 γ_4 를 구한다. 이와같이 限定條件을 만족하는 γ 값을 찾기 위하여

$$\|g - H\hat{f}\|^2 = \|n\|^2 \pm a \quad (22)$$

의 범위에 수렴하도록 accuracy factor a 를 0.025

$\|n\|^2$ 으로 하여 2.5% error를 허용하였다.

2. 映像處理 결과 및 검토

그림 3은 적정한 解를 구하기 위하여 Secant 알고리즘을 사용하여 限定條件을 만족시키기 위해 수렴하는 관계를 나타낸다. 그림 4는 같은 限定條件을 만족하는 α 와 γ 의 관계를 나타낸 것이다. 그림 5에는 原 영상, 훼손된 영상, 인버스 필터링에 의한 영상과 Hunt의 방법에 의해 restoration된 영상이 나타나 있다. 그림 6은 각기 다른 α 값에서 restoration되어진 영상이다.

Restoration된 영상의 質을 측정하기 위한 방법으로 다음과 같이 distance를 정한다.

$$\text{distance} = \frac{\sqrt{\sum_{x=1}^{108} \sum_{y=1}^{108} \{f(x, y) - \bar{f}(x, y)\}^2}}{\sqrt{\sum_{x=1}^{108} \sum_{y=1}^{108} \{f(x, y) - \bar{f}(x, y)\}^2}} \quad (23)$$

$f(x, y)$... 원 영상
 $\bar{f}(x, y)$... 원 영상의 평균
 $\hat{f}(x, y)$... 복원된 영상

각 경우의 restoration된 결과의 distance가 표 1.에 나타나 있다. 그림 7은 本 論文의 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 플로우 차트이다.

本 論文에서 Hunt의 限定最小 제곱 필터에 인버스 필터를 조합하여 媒介變數 α 를 사용한 restoration 방법은 α 값이 증가함에 따라 인버스 필터 효과가 우세하여 高周波의 영향이 나타남을 알 수 있다. 그림 3에서 알 수 있듯이 α 값이 증가함에 따라 限定條件을 만족하기 위한 적정한 γ 값이 증가함을 알 수 있다. 또한 그림 4에서 주어진 α 값에 대해 限定條件을 만족하는

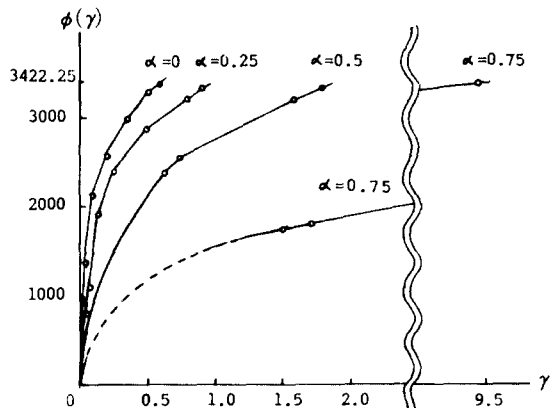


그림 3. γ 에 대한 $\phi(\gamma)$ 의 관계
Fig. 3. Relation of $\phi(\gamma)$ versus γ .

적절한 γ 가 1대1로 대응되므로 高周波 성분을 강조하고 싶은 정도에 따라 restoration을 할 수 있음을 알 수 있다.

그림 5 중에서 인버스 필터링에 의한 영상은 과도한 blurring과 雜音의 영향으로 restoration 효과가 있음을 알 수 있다. 그림 6은 α 값이 변함에 따라 restoration된 영상을 보여주는데 α 가 0.75가 되면 인버스 필터의 효과가 커져 雜音의 영향이 커지는 것을 알 수 있다.

따라서 좋은 영상을 얻기 위해서는 적절한 α 값을 정할 필요가 있다. 표 1. 에 나타난 각 경우의 distance

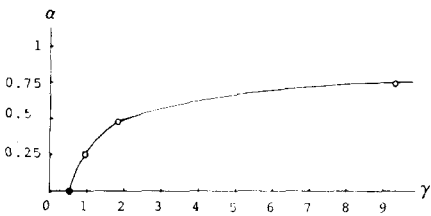


그림 4. 같은 限定條件을 만족하는 α 와 γ 의 관계
Fig. 4. Relation of α and γ satisfying the same constraint.

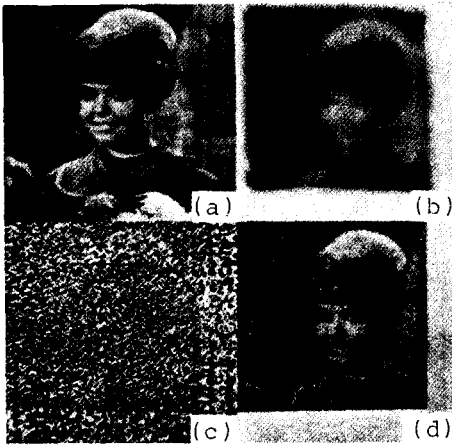


그림 5. 처리된 영상
(a) 原영상
(b) 훼손된 영상
(c) 인버스 필터링에 의한 영상
(d) Hunt 方法에 의해 복원된 영상.

Fig. 5. Processed images
(a) Original image
(b) Degraded image
(c) Inverse filtered image
(d) Restored image by Hunt's method.

값은 α 가 0.25와 0.5에서는 Hunt 方法과 별 차이가 없이 高周波 성분을 보강할 수 있음을 알 수 있다.



그림 6. α 값에 따른 복원된 영상
(a) α 가 0일 때 복원된 영상
(b) α 가 0.25일 때 복원된 영상
(c) α 가 0.5일 때 복원된 영상
(d) α 가 0.75일 때 복원된 영상.

Fig. 6. Restored images according to α
(a) Restored image when α is 0
(b) Restored image when α is 0.25
(c) Restored image when α is 0.5
(d) Restored image when α is 0.75.

표 1. Restoration된 영상의 distance
Table 1. Distance of restored image.

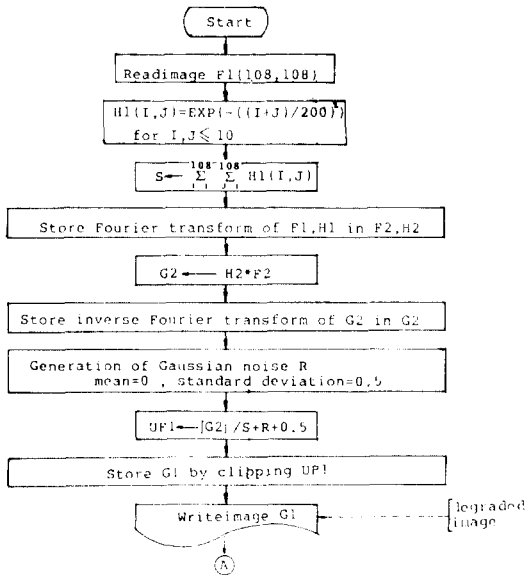
α	0.25	0.5	0.75	0
distance	0.2676	0.2985	0.5113	0.2607

IV. 結 論

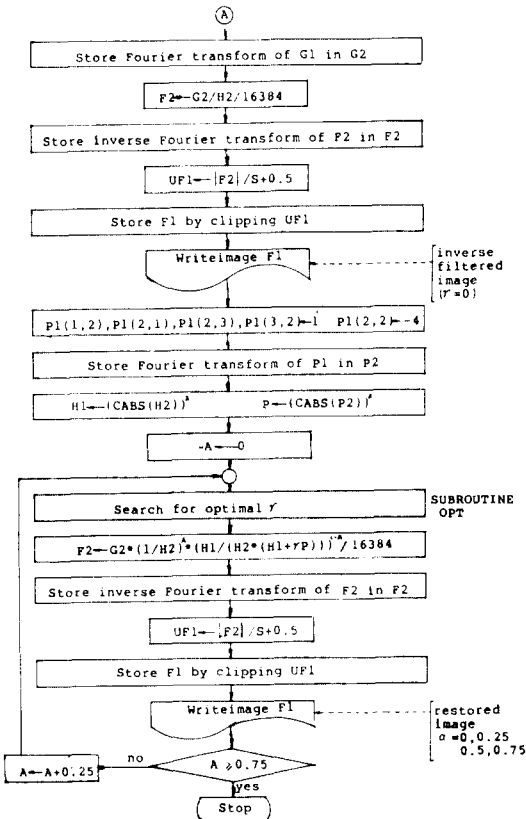
Gaussian 형태의 PSF에 의하여 blurring되고 평균이 0, 표준 편차가 0.5인 Gaussian 雜音에 의하여 훼손된 영상을 restoration하는 방법으로 Hunt의 限定最小 제곱 필터에 인버스 필터의 효과를 첨가하여 媒介變數 α 를 변화시켜 가며 이에 대한 영향을 살펴 보았다.

Hunt가 제시한 限定最小 제곱 필터는 영상의 高周波 성분을 de-emphasis하는 효과를 가지고 있으며 限定條件을 만족하는 적정치 γ 가 유일하게 정해진다.

(Degraded System)



(Restored System)



(Subroutine OPT)

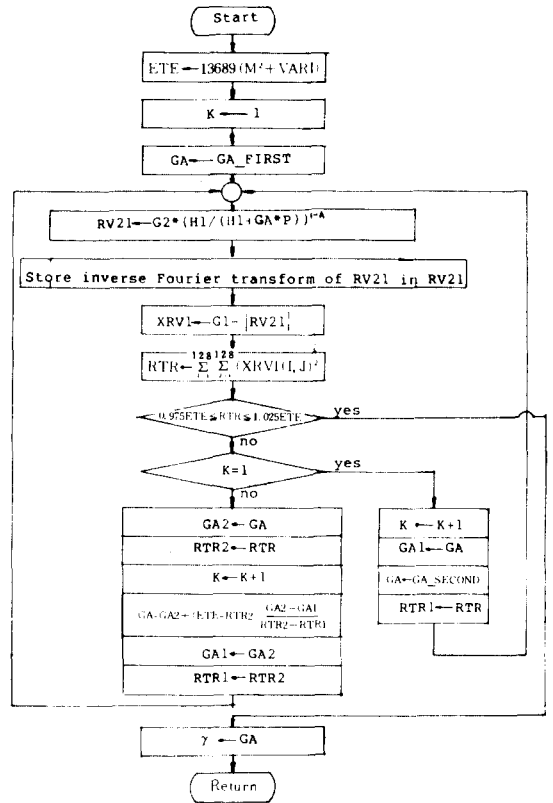


그림 7. 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 플로우 차트
Fig. 7. Flow Chart for computer simulation.

그러나 인버스 필터를 조합하여 α 값을 변화시킬 경우, 정해진 α 값에 대하여 값은 限定條件을 만족하는 적정치 γ 가 새롭게 결정된다. 여기서 Hunt의 방법은 인버스 필터 효과가 없는, 즉 α 가 0인 경우에 해당된다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과,雜音의 영향을 무시할 수 있는 정도에서 α 값을 정하면 α 값에 의한 인버스 필터 효과로 高周波 성분이 보상된 영상을 얻을 수 있을 것이다.

參考文獻

- [1] Rafael C. Gonzalez, Paul Wintz; *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, 1977.
- [2] W.K. Pratt; "Digital image processing", Wiely, 1978.
- [3] H.C. Andrews, B.R. Hunt; "Digital image restoration", Prentice-Hall, 1977.

- [4] Azriel Rosenfeld, Avinash C. Kak; *Digital Picture Processing*. Academic Press, 1976.
- [5] B.R. Hunt; "The application of constrained least squares estimation to image restoration by digital computer", *IEEE Trans. on Computers*, vol. C-22, no.9, Sep. 1973.
- [6] B.R. Hunt; "Digital image processing", *IEEE Proceed.*, vol. 63, no. 4, Apr. 1975.
- [7] D.L. Phillips, "A technique for numerical solution of certain integral equations of the first kind," *J. Ass. Comput. March.*, vol. 9, pp. 97-101, 1962.
- [8] Nelson D.A. Mascarenhas, W.K. Pratt; "Digital image restoration under a regression model," *IEEE Trans. on Circuits & Systems*, vol. CAS-22, no. 3, Mar. 1975.
- [9] R. Burden, J. Douglasfares, A. Reynolds; "Numerical analysis," Prindle, Weber & Schmidt, 1979.
- [10] H. Katsulai, N. Arimizu; "Evaluation of image fidelity by means of the fidelogram and level mean-square error," *IEEE Trans. PAMI*, vol. PAMI-3, no. 3, May 1981.
- [11] S.S. Dikshit; "A recursive kalman window approach to image restoration," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-30, pp.125-140, Apr. 1982.
-